

국내외 지하댐의 건설 동향 및 효과 분석

An Analysis of Construction Trends and Effect of Groundwater Dam

김 종 태* 정 일 문** 김 남 원*** 정 교 철****
Kim, Jong-Tae · Chung, Il-Moon · Kim, Nam-Won · Jeong, Gyo-Cheol

1. 머리말

국내 수자원의 특성상 강우의 시간적, 공간적 불균형이 심하여 수자원 개발과 관리여건이 대단히 어렵다. 지금까지 용수 공급의 주력을 맡아 온 지표수댐 개발 역시 위치 선정의 어려움과 지역 이기주의 등으로 제한을 받아 지속적으로 증가하고 있는 용수 수요를 감당하기에 큰 어려움이 발생하고 있다.

수자원 확보의 문제점을 해결하기 위한 방법으로 최근 지하댐 건설이 제시되고 있다. 지하댐은 수몰지 형성, 주변 환경과 생태계에 미치는 영향이 매우 큰 지표수댐과 비교하여 환경 친화적이며 저류지역의 수몰이 없어 댐 건설 후에도 지표의 토지를 계속 이용할 수 있으며, 취수시설의 설치 및 이용이 자유롭다. 또한 공사비가 저렴하며 댐 붕괴와 같은 위험성이 적다. 이처럼 지하댐은 다양한 이점을 가지고 있지만 국내 지하댐의 경우 정확한 효과 분석이 미비하다. 이에 따라 새로이 개발된 지표수와 지하수 통합모형을

이용한 지하댐 건설 전·후의 지하수위 변화에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

지금까지 지하댐에 관한 연구는 다수 진행되었으나 지표수와 지하수의 통합모형을 이용한 해석은 없었으며 본 연구에서는 지하댐 건설의 국내·외 동향을 파악하고 연구지역의 강우를 비롯한 기상자료를 바탕으로 개발된 모형인 SWAT-MODFLOW를 이용해 지하댐 건설 후 지하수위의 변화를 정량적으로 해석하였다.

2. 지하댐 건설 기술의 현황

가. 국내

현재 국내 지하댐의 경우 농업용 5개, 생활용 수용 1개가 건설되어 운영되고 있다. 차수벽 공법은 다양한 방법이 사용되어졌으며 집수정은 대부분 4기이나 전북 정읍의 고천지구는 집수정 5기를 포함하고 있다. 1986년도에 지하댐 4개소가 개발되었으며 강원도 속초의 쌍천지하댐이

* 안동대학교 지구환경과학과 박사과정(jongtae98@empal.com)

** 한국건설기술연구원 선임연구원(imchung@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 책임연구원, 수자원연구실장(nwkim@kict.re.kr)

**** 안동대학교 지구환경과학과 교수(jeong@andong.ac.kr)

가장 최근에 개발되었다. 그러나 실제 운영되고 있는 상태에서 살펴보면 수자원확보에 있어 지하댐의 기능을 모두 수행하지 못하고 있는 실정이며 건설 후 관리에 있어서도 많은 문제점들을 보여주고 있다.

지하댐에 대한 관심이 증가되면서 2002년도 한국수자원공사는 지하댐 개발방안 수립조사를 실시하였으며 우리나라의 지하댐 개발 방향과 전략을 제시하였다. 지하댐 개발사업 계획에서는 현지답사, 현장 수리지질조사, 지하댐 개발의 필요성 등을 고려하여 최종적으로 21개의 지하댐 개발 지역을 대상으로 중장기 지하댐 개발사업 계획을 수립 제시하였다(그림 1).

지하댐의 중요성이 인식되면서 지하댐 건설에 따른 효과 분석을 해석하기 위해 다양한 방법이 시도되고 있으나 대부분 지하수 흐름 해석 모형인 MODFLOW를 이용한 방법이 대부분이다. 임형준(2002), 박민웅(2003), 강수환(2007)은 MODFLOW 모형을 이용해 지하댐 건설 후 지하수 흐름에 대해 연구하였으며 유역모델인

SWAT모형을 이용한 연구에는 김동준(2007)의 SWAT 모형을 이용한 지하댐 수문성분분석 등이 있다. 그러나 실제 MODFLOW 및 SWAT 모형은 각각 지표수와 지하수 중심 모형이므로 지표수와 지하수가 연계된 지하댐 해석 모형으로는 부족한 것으로 평가되었다.

김남원 등(2004)은 세계 최초로 지표수와 지하수의 통합관리를 위해 SWAT 모형과 MODFLOW 모형을 일 단위의 완전연동형 방식으로 결합한 SWAT-MODFLOW 모형을 개발하였으며 다양한 유역에 지표수 및 지하수 관련 해석을 진행중이다.

나. 국외

국외의 경우 다양한 방법으로 지하댐이 건설되었거나 건설 예정 중에 있다. 유럽의 경우로 마인이 건설한 지하댐의 유적이 아직 남아있으며, 중동지역에서는 지하동굴을 건설하여 물을 저장하였고 아프리카지역에서는 인공적인 모래저장댐을 축조하여 사용하였다.

1) 일본

동아시아 지역의 지하댐 건설은 일본에서 시작되었으며 현재 가장 많은 지하댐을 보유하고 있는 국가 중 하나이다. 표 1은 일본의 현재 지하댐 건설 현황을 나타내는 표이다. 일본에서의 본격적인 지하댐 개발은 1979년에 오키나와에서 미나후크(Minahuku)지하댐을 축조하면서 시작되었다. 현재 일본에서는 10개소 이상의 지하댐이 완공되어 사용되고 있다. 일본의 지하댐은 대부분 섬지방에서 농업용수를 공급하기 위하여 건설되고 있으며 물막이벽 외에는 별도의 저류시설이나 함양시설을 설치한 곳이 거의 없는 것으로 확인되었다.

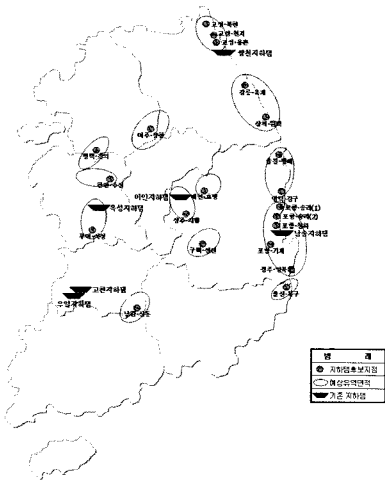


그림 1. 지하댐의 건설 예정지 및 예상 유역 면적

표 1. 일본의 지하댐 건설 현황

Name Item	Minahuku	Sunagawa	Hukuzato	Kanjin	Giiza	Komesu	Yokatsu
Location	Okinawa, Gusukube	Okinawa, Cusukube	Okinawa, Gusukube	Okinawa, Gushikawa	Okinawa, Gushikami	Okinawa, Itomang	Okinawa, Katsuren
Wall length(m)	500	1,677	1,790	1,088	965	2,489	705
Wall depth(m)	16.5	50	27	52	51	80	67.6
W.A. (ha)	120	720	12,400	300	120	390	28.6
T.S.C. (m ³)	720,000	9,500,000	10,500,000	1,580,000	389,000	3,457,000	03,963,000
T.S.C./W.A.(m ³ /ha)	6,000	13,194	846	5,266	3,242	8,864	13,856
Abstraction rate (m ³ /D)	7,000	24,000	30,000	21,200	1,200	8,900	14,368
Geology	Mudstone (Tertiary)	Mudstone (Tertiary)	Mudstone (Tertiary)	Agglomerate (Tertiary)	Mudstone (Tertiary)	Mudstone (Tertiary)	Mudstone (Tertiary)
Completion	1979	1987~1994	1993~2000	1996~2003	1998~2003	1993~2003	2006

Name Item	Kikai	Nakajima	Kabashima	Waita	Tengakum	Tsunegami	Miko
Location	Kagoshima, Kikai	Ehime, Nakajima	Nagasaki, Nomugiki	Nagasaki, Toyotama	Hukuoka, Umi	Hukui, Mikata	Huku1, Mikata
Wall length(m)	2,190	87	59	105	129	202	196
Wall depth(m)	36	26.1	24.8	7.5	12.5	18.5	39.3
W.A. (ha)	580	60	60	340		45	5.7
T.S.C. (m ³)	1,681,000	27,000	9,340	12,000	17,500	73,000	23,000
T.S.C./W.A.(m ³ /ha)	2,898	450	156	35		1,622	4,035
Abstraction rate (m ³ /D)		500	300	280	900	400	460
Geology	Mudstone (Tertiary)	Andesite (Tertiary)	Schist	Shale (Cretaceous)	Granite (Cretaceous)	Clay slate (Paleozoic)	-
Completion	1993~2002	1991~1992	1974	1991~1992	1987~1988	1982~1984	1996

TSC: Total storage capacity, W.A: Watershed Area

2) 중국

중국에서 가장 많은 지하댐이 설치된 곳은 산둥성과 랴오닝성으로 6개의 지하댐이 건설되어 있고 산둥성의 경우 2010년까지 6개의 지하댐이 계획되어 있다<표 2>. 중국의 경우 대부분 농업용수 사용을 위해 지하댐이 건설되었으며 과학적인 수리지질학적 접근을 통해 다양한 방법에 의한 지하댐을 건설 중에 있다.

3) 인도

인도 Palghat Gap 지역의 지하댐은 편마암과 화강암이 지질의 주를 구성하고 있으며 평균 저류량이 15,000톤 정도의 소규모 관개용 지하댐으로 처음에 1962년~1964년 기간 중 민간

주도로 만들어진 제1댐과, 1979년에 정부가 주도하여 만든 제2댐이 있다. 제1댐 130m에 대해 석고 벽돌을 기반암부터 평균 높이 5~9m로 쌓아올렸으며, 대부분의 대수층은 모래이며 유효공극률은 7.5% 정도이다(Hanson and Nillson, 1986).

4) 에디오피아(Bombas 지역, Gursum 지역)

Bombas 지역의 지하댐은 매우 소규모의 모래 저장댐으로 심도 3m의 천부 기반암까지 굴착한 후 콘크리트 블록을 이용하여 지표보다 0.8m 높게 댐을 축조하였다. Gursum 지역은 인구 5,000명에 대한 생활용수 공급을 목적으로 모래 저장댐을 건설하였다. 그러나 이 지역

표 2. 중국의 지하댐 건설 현황

Name Item	黃水河	王河	賈?	大沽夾河	龍河	三澗堡
Location	山東省 龍口市	山東省 萊州市	山東省 膠州市	山東省 煙臺市	遼寧省 大連市	遼寧省 三澗堡
Wall length (m)	5,996	170,000	-	-	460	1,200
Wall depth (m)	40.1	-	-	-	12	-
W.A. (ha)	102,300	-	-	-	-	-
T.S.C. (m ³)	53,590,000	56,930,000	3,700,000	-	640,000	6,142,000
T.S.C./W.A. (m ³ /ha)	523.8	-	-	-	-	-
Abstraction rate (m ³ /D)	107,640	-	-	-	-	122,603
Completion (Wall)	1987~1994	1993~2000	1996~2003	1998~2003	1999~2003	2006

TSC: Total storage capacity, W.A: Watershed Area

대수층은 투수성이 불량하여 충분한 수량을 공급하지 못하여 지반에 대한 부분적인 개량과 댐 상류부의 샘에 유공 PVC관을 연결하여 보충하였다(Hanson and Nillson, 1986).

5) 기타

그 외 지하댐은 콜롬비아, 필리핀 등에 건설되어져 사용 중에 있으며 멕시코, 인도네시아에서는 수량확보를 위해 지하댐건설을 계획 중에 있다.

3. 지하댐 건설의 효과분석

가. 연구지역의 지형 및 지질

1) 지형

본 연구지역은 경상남도 하동군 황천강 일대로써 경상남도의 최서부에 위치하고 있으며 북쪽으로는 지리산을 경계로 산청군과 함양군, 전라북도 남원시와 접하고 있으며, 서쪽으로는 섬진강을 사이에 두고 전라남도 광양시와 구례군과 인접해 있고, 동쪽으로는 진주시와 사천시, 남쪽으로는 남해 바다를 경계로 남해군과 접하고 있어 2개도와 8개 시군과 접하고 있다. 소백산맥이 북쪽에서 남쪽으로 향하면서 북쪽으로는 지리산과 서쪽으로는 백운산이

맞대어 솟아있고, 남부지역에서는 많은 섬과 만(灣)을 포함하는 다도해가 위치하고 있다.

황천강 하부지역에는 남산천과 강화천이 합류되며 하천이 넓어지고 유량이 많아져 상대적으로 유속이 약한 지점에 조립질의 토사가 넓게 형성되는 삼각주 형태를 보이고 있다. 황천강은 남쪽방향으로 곡류하고 있으며 유속이 약한쪽으로 토사가 넓게 쌓여 있는 형태를 보이고 있으며 하천 중심으로 주변에 양호한 충적층이 발달하고 있으며 충적층을 따라 논과 밭 농작이 이루어지고 있다.

2) 지질

본 연구지역에 전반적으로 분포하는 암석은 선캠브리아기의 화강암질 편마암, 우백질편마암, 편암, 화강편마암, 시대미상의 회장암, 쥐라기의 섬록암 그리고 백악기의 석영반암이 분포한다. 표 3은 연구지역의 시대별 지질특성을 나타내며 그림 2는 연구지역의 지질도를 나타낸다.

나. 모형 해석

1) SWAT-MODFLOW 모형

지표면, 토양, 암반에서의 유동해석은 각각

표 3. 연구지역의 지질 특성

시대구분	암석 구분	특징
백악기	석영반암	<ul style="list-style-type: none"> · 대체적으로 연구지역 중앙에 분포하는 화강섬록암을 포함 · 본암의 주요 분포는 우복리 중부를 지나 월운리에 걸쳐 남북 방향의 약간 굽은 대상으로 노출된 서부 분포지와 다래사를 중심으로 한 동부 분포지에 분포
จู라기	섬록암	<ul style="list-style-type: none"> · 본암의 주 암체는 회장암 주 암체와 접하여 남북 방향의 긴 대상 분포를 나타냄
선캄브리아기	화강편마암	<ul style="list-style-type: none"> · 본암은 광역변성작용을 받아 반상변정 화강암질 편마암 및 미그마타이트질 편마암과의 경계는 점이적으로 변할
	편암	<ul style="list-style-type: none"> · 본암은 편마암질 원암의 일부 잔류물로 생성되는 것으로서 남북 방향의 연속적인 좁고 긴 대상을 이루고 발달함
	우백질편마암	<ul style="list-style-type: none"> · 우백질 편마암은 연구지역의 남북 방향으로 분포하고 있으며 동쪽에서는 회장암과 접하고 있음
	화강암질편마암	<ul style="list-style-type: none"> · 화강암질 편마암은 중앙부 일대에 넓게 분포함 · 이 암석은 외견상 화강암과 유사하나 광물 성분상 화강섬록암질 또는 석영섬록암질암에 해당함
시대미상	회장암	<ul style="list-style-type: none"> · 연구지역 중북부에 비교적 넓은 암체를 보임

매질특성 차이로 인해 서로 다른 모습을 보여 준다. 지표면에서는 경사를 기준으로 유동이 결정되지만 토양의 경우 공극률에 의해 유동 방향이 결정된다. 또한 암반에서 유동은 지하 암반 내 대공극의 크기, 방향에 의해 결정된다. 즉 지표면에서의 유동특성과 지하 암반에서의 유동특성은 다르다는 것을 확인하였다(한국건설기술연구원, 2004).

지금까지 지하수 및 지표수 모형은 각각

해석되는 경우가 대부분이었으나 SWAT-MODFLOW 모형은 지표수-지하수의 결합모형으로써 현재 다양한 방면으로 연구가 시작되고 있다. SWAT 모형은 상대적으로 느린 흐름인 지하수 흐름해석에 문제점을 가지고 있으며 MODFLOW는 지하수 흐름 해석을 제외한 나머지 물 순환성분에 대한 해석방법이 힘들어 주요 입력 자료인 지하수 함양량의 결정에 어려움이 많다. 따라서 두 모형간의 장점을 유지하면서 단점을 상호 보완하면 수문순환성분을 요소별로 정량화 시킬 수 있다. SWAT과 MODFLOW 결합 모형에서의 수문성분은 강수, 증발산, 침투, 함양, 하도수위, 지하수 유출 등이다.

2) 연구지역 강수자료 분석

연구지역의 최근 10년 강수량을 분석하였으며 연강수량 대비 강우일수 및 단계별 강우일수를 표로 나타내었다(표 4). 그 결과 2003년도에 연강수량 및 강우일수가 가장 많았으며 2008년도에 연강수량은 가장 낮은 값을 보였다.

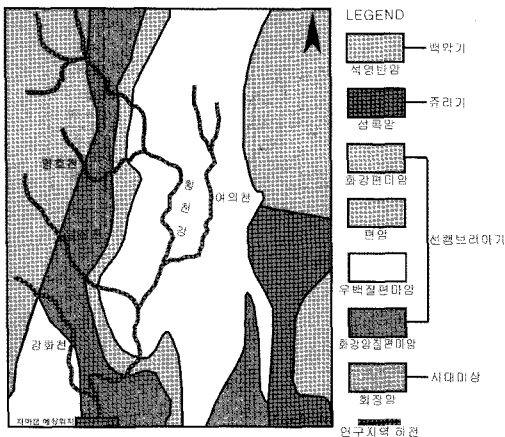


그림 2. 연구지역의 지질도

표 4. 연구지역의 연강수량 및 단계별 강우일수

년도	연강수량 (mm)	강우 일수(일)	30mm 이상강우 일수(일)	50mm 이상강우 일수(일)	70mm 이상강우 일수(일)
1999	2,045.0	98	24	14	5
2000	1,546.9	96	15	9	6
2001	1,216.3	89	14	4	2
2002	1,817.1	96	21	9	4
2003	2,151.2	114	23	11	5
2004	1,575.0	105	15	8	4
2005	1,113.7	93	9	5	2
2006	1,674.0	102	18	7	6
2007	1,701.5	105	17	8	6
2008	885.6	93	8	4	2
평균	1,572.6	99.1	16.4	7.9	4.2

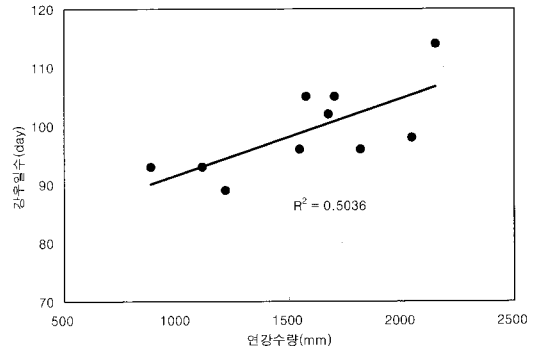


그림 3. 강우일수와 연강수량의 관계

30mm 혹은 50mm 이상 강우일수가 많으면 연강수량도 커지는 것을 알 수 있으며 단기간에 내리는 집중호우보다 꾸준히 내리는 30~50mm 정도의 강우가 지하수 함양에 더 효과적인 것을 확인하였다. 또한 무강우 일수와 연강수량과는 상관관계가 미약하며 집중호우로 인해 연강수량은 증가하는 것으로 나타났다. 그림 3은 강우일수와 연강수량의 관계를 나타낸 그래프이다.

월강수량

최근 10년간(1999년~2008년) 연구지역의 월 누가강수량의 특성은 아래의 표 5와 같다.

월 누가강수량이 50mm 이하로 관측된 시기는 1999년 4회, 2000년 6회, 2001년 5회, 2002년 3회, 2003년 3회, 2004년 4회, 2005년 5회, 2006년 6회, 2007년 4회, 2008년 7회로 나타났다. 월 누가강수량이 50mm 이하로 관측된 시기는 대부분 건조월인 1~4월 그리고 11~12월로 확인되었다. 특히 가뭄이 심하였던 2008년 경우와 강수량이 가장 크게 나타난 2003년을 비교해보면 2008년 총강수량은 885.6mm였으며 2003년 총강수량은 2,151.2mm로 관측되었다.

10년간 강수량 변동 추이

그림 4를 보면 경남 하동군 일대의 최근 10년간

표 5. 연구지역의 월별 강우 특성(1999~2008)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총강수량
1999	32.0	31.0	156.4	95.6	174.2	197.0	466.9	438.5	345.2	92.8	15.4	0.0	2045.0
2000	24.2	0.2	23.0	50.0	68.7	123.6	379.7	484.7	316.1	26.1	50.1	0.5	1546.9
2001	58.9	80.0	15.5	48.5	41.8	323.5	266.6	137.1	107.3	82.6	11.0	43.5	1216.3
2002	55.1	8.6	100.7	152.1	150.6	81.7	300.0	760.1	116.5	52.1	7.0	32.6	1817.1
2003	30.4	57.5	58.0	235.5	293.0	259.6	481.0	343.0	321.1	10.0	53.6	8.5	2151.2
2004	0.1	78.0	42.6	129.8	161.5	243.0	229.5	348.5	213.6	12.2	85.1	31.1	1575
2005	11.7	43.6	85.0	102.2	90.9	113.5	273.6	297.3	54.8	9.0	31.5	0.6	1113.7
2006	28.0	30.8	14.0	140.0	284.5	268.6	630.9	106.6	99.5	39.5	20.1	11.5	1674.0
2007	2.8	60.7	96.7	35.8	97.9	54.5	245.7	507.0	471.4	96.5	0.0	32.5	1701.5
2008	46.1	9.0	36.3	68.5	108.5	337.6	93.6	100.4	36.2	35.2	11.3	2.9	885.6
10년 평균	28.9	39.9	62.8	105.8	147.2	200.3	336.8	352.3	208.2	45.6	28.5	16.4	1572.6

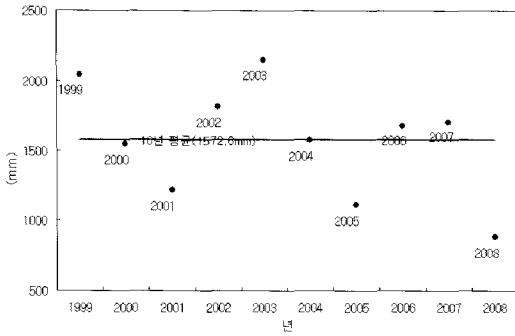


그림 4. 연평균 강수량 변화

연평균강수량의 변동 추이를 알아볼 수 있다. 그림에서와 같이 최근 10년 강수량의 평균값은 1,572.6mm이며 2000년, 2004년이 평균과 거의 일치하며 1999년, 2002년, 2003년, 2006년, 2007년이 연평균강수량 보다 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 연구지역의 경우 강원도 속초 쌍천지하댐과 비교 했을 경우 지하수량에 직접적인 영향을 미치는 강수량이 연평균 약 70mm 정도 많은 것으로 나타났다.

3) 입력값 산정

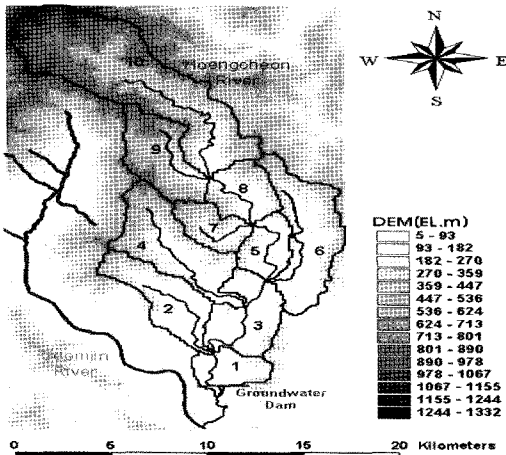


그림 6. 연구지역의 DEM 자료

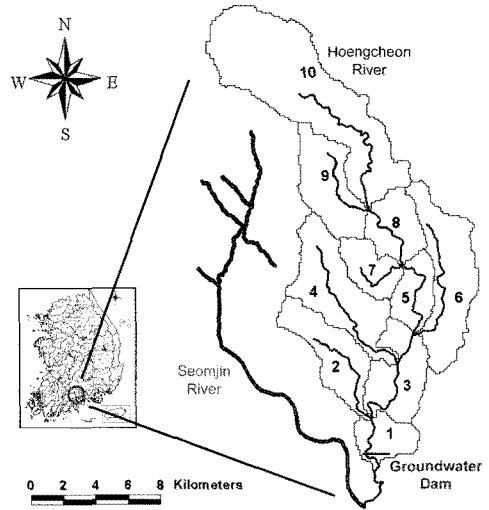


그림 5. 연구지역의 위치 및 소유역도

연구지역의 장기유출현상을 모의하기 위하여 가장 인접한 진주 기상관측소의 자료(2000년~2008년)를 구축하였다. 입력자료는 일강수량(DR), 일 최대 및 일 최저 기온(TM), 일평균복사에너지(SR), 일평균풍속(WS), 일평균상대습도(RH) 등의 자료를 사용하였으며

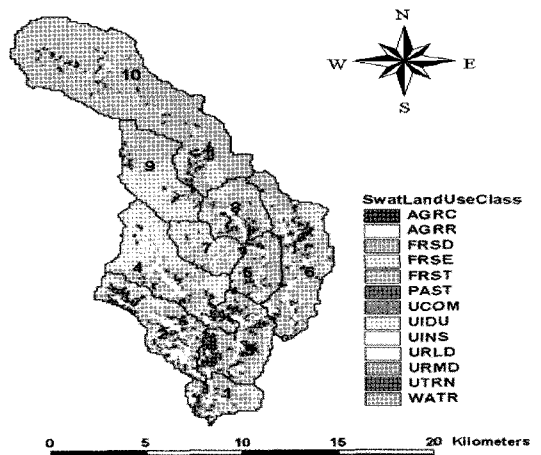


그림 7. 연구지역의 토지이용도

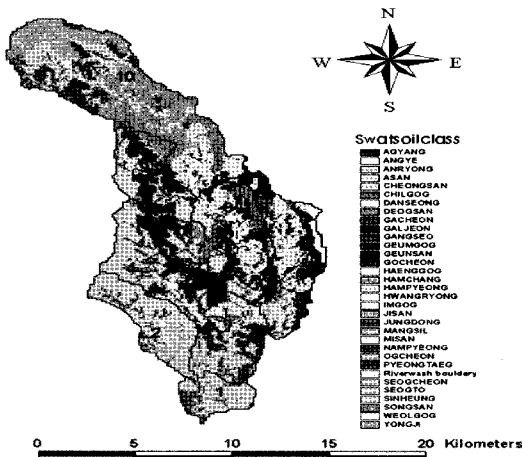


그림 8. 연구지역의 토양도

DEM 100m, 중분류 토지피복도, 중분류 토양도를 바탕으로 해석하였다.

그림 5는 연구지역의 위치 및 모형해석을 위한 소유역도이며 그림 6은 연구지역 DEM 자료이며 SWAT모형은 토양층을 중심으로 물수지를 파악하는 모형이므로 토양층 자료를 구축하는 것이 핵심이다. 이를 위해 1:25,000의 정밀 토양도로부터 얻어진 토양층을 실제 분석에 이용했으며 토지이용도와 토양도를 중첩시켜 구한 HRU 분포를 수문응답의 기본단위로 사용하였다(그림 7, 그림 8).

4) SWAT-MODFLOW 해석 결과

INPUT DATA

본 연구의 대상유역은 경상남도 하동군 황천강 유역 일대로써 유역면적은 154.21km²이며

표 6. 연구지역의 입력자료

도별	유역면적 (km ²)	주하도 연장 (km)	투수계수 (m/d)	지하담 투수계수 (m/d)
연구지역	154.21	57	1.0	1.0 × 10 ⁻⁴

지하담의 일반적인 사항은 쌍천지하담 제반사항을 적용

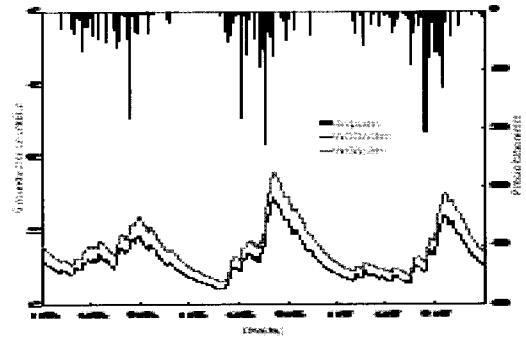


그림 9. 연구지역 지하담 건설전과 후의 지하수위 비교

주하도 연장은 57km로 나타났다. 실내시험 및 프로그램 해석 결과 투수계수는 1m/d로 확인되었으며 지하담 투수계수는 1.0 × 10⁻⁴m/d로 산정되었다(표 6). 기타 일반적인 사항은 강원도 속초 쌍천 지하담 제반사항을 적용하였다.

해석결과

연구지역인 황천강 유역 지하담 예정지에서 SWAT-MODFLOW 해석결과 저류량 및 유출량의 증가를 보였다. 지하담 건설 후 8월과 12월의 지하수위를 예측한 결과 8월의 지하수위가 높게 예상되었으며 이는 국내 강수 특성에 따른 것으로 판단된다. 또한 지하담 건설 전과 건설 후의 지하수위를 비교한 결과(그림 9) 지하담 건설 후 직상류부의 경우 일평균 약 2.13m의 지하수위 상승효과가 발생하는 것을 확인하였다 (W/O GW_Dam: 지하담 건설 전, W GW_Dam: 지하담 건설 후).

4. 결론

지하담은 지상담과 비교해 환경 친화적인 담 등의 다양한 장점을 가지는 수량 확보 방법 중 하나이며 현재 수량 부족에 대한 해결책으로 가장

많은 주목을 받고 있다. 본 연구에서는 지하댐의 국내·외 동향을 알아보았으며 실제 지하댐 예정지에서 지하댐에 따른 효과를 분석하였다.

연구지역은 경상남도 하동군 횡천강 유역의 지하댐 예정지를 대상으로 하였으며 지하댐 건설을 위한 수문성분 및 수리지질구조 해석을 통하여 실제 지하수위 변화를 파악하였다. 본 논문에서는 해석을 위해 새로이 개발된 SWAT-MODFLOW 모델을 이용해 지표수 및 지하수 통합 모형 해석을 실시하였으며 그 결과 연구지역의 지하수위는 지하댐 건설 후 1일 약 2.13m의 상승효과가 발생하는 것을 확인하였다. 본 연구 결과는 지표수-지하수 통합모형의 실용화 체계를 구축하였으며 실제 지하댐 설치에 따른 영향분석 결과이다. 이는 지하댐 건설이 차후 직·간접 수자원 확보에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 판단한다.

참고문헌

1. 강수환, 2007, 지하댐 효율성의 모델링 평가, 공주대학교 대학원, pp.26~48.
2. 김남원, 정일문, 원유승, 2004, 완전 연동형 SWAT-MODFLOW 결합모형, (I)모형의 개발, 한국수자원학회 논문집, 제37권 제6호, pp.499~507.
3. 김동준, 2007, 지하댐에 의한 수자원 확보 기술개발에 관한 연구, 관동대학교학원, pp.1~3.
4. 박민용, 2003, 지하댐 주위에서 지하수 흐름특성에 관한 연구, 관동대학교대학원, p.54.
5. 임형준, 2002, 지하댐이 있는 유역의 지하수 흐름에 관한 연구, 동국대학교대학원, pp.80~81.
6. 한국건설기술연구원, 2007, 21세기 프론티어연구개발사업(지표수 수문성분 해석시스템 개발) 보고서.
7. Hanson, G., Nilsson, A., 1986, Ground-water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries, GROUND WATER, 24(4).

이 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 3단계 연구사업(과제번호 2-2-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드린다.